

# Gocce di Java

## Calcolatori e programmi

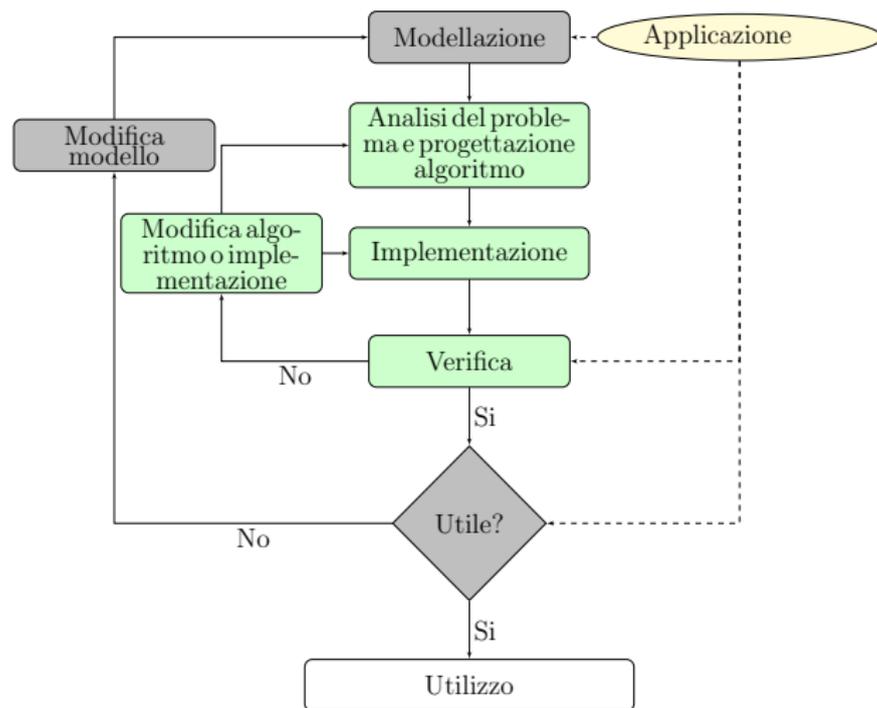
Pierluigi Crescenzi

Università degli Studi di Firenze

## Cosa è l'informatica?

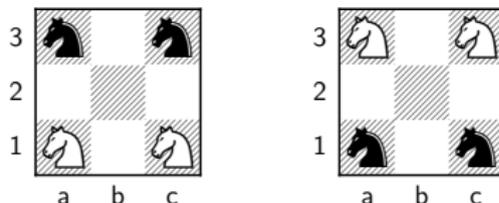
- ▶ Più facile dire cosa non è
  - ▶ Poco a vedere con “alfabetizzazione informatica” (saper usare un computer per scrivere un testo o navigare in Internet)
  - ▶ Non consiste semplicemente nello scrivere programmi
- ▶ Denning et al (1989)
  - ▶ *L'informatica è lo studio sistematico dei processi algoritmici che descrivono e trasformano l'informazione: la loro teoria, analisi, progettazione, efficienza, implementazione e applicazione*
  - ▶ Domanda fondamentale
    - ▶ *Che cosa può essere (efficientemente) automatizzato?*
- ▶ Metodo algoritmico
  - ▶ Formulare algoritmi che risolvano un problema
  - ▶ Trasformare questi algoritmi in programmi
  - ▶ Verificare la correttezza e l'efficacia di tali programmi analizzandoli ed eseguendoli

## Il metodo algoritmico

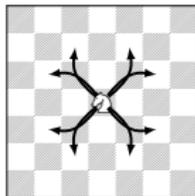


## Il metodo algoritmico: trovare il giusto modello

- Qual è la sequenza di mosse più breve che consente ai cavalli di passare dalla configurazione a sinistra a quella a destra?

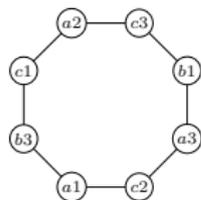
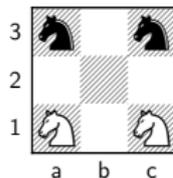


- Possibili mosse del cavallo

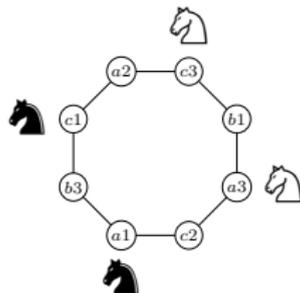
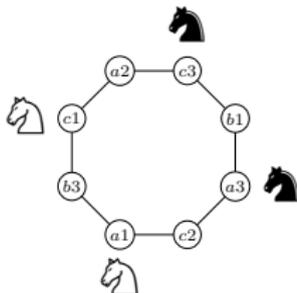


## Il modello

- ▶ Rappresentare il problema mediante una relazione di raggiungibilità

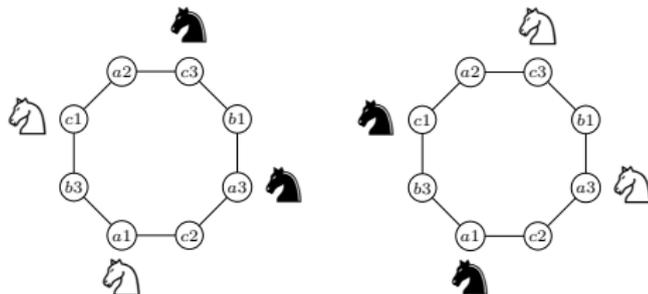


- ▶ Il problema diventa: trovare il minimo numero di mosse per andare dalla configurazione a sinistra a quella a destra



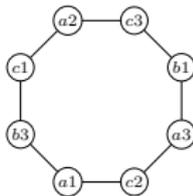
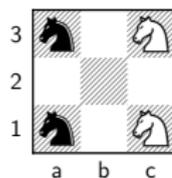
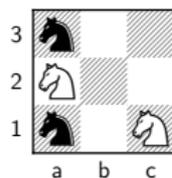
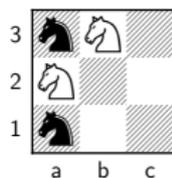
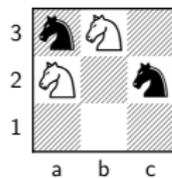
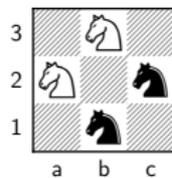
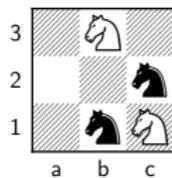
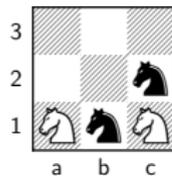
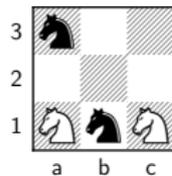
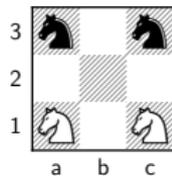
## La soluzione: algoritmo

- ▶ Trovare il minimo numero di mosse per andare dalla configurazione a sinistra a quella a destra



- ▶ Ruotare i cavalli di quattro posizioni in senso orario (o antiorario)

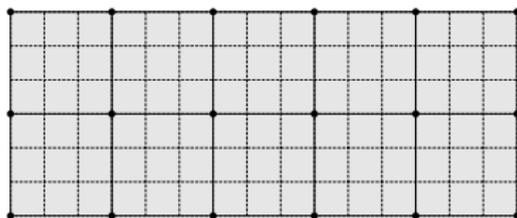
## La soluzione: le prime 8 mosse



## Il metodo algoritmico: trovare il giusto algoritmo

### ► Problema

- Piastrellare una stanza rettangolare di dimensione  $n \times m$  con il minor numero possibile di mattonelle quadrate di uguale dimensione
  - Esempio:  $n = 6$  e  $m = 15$

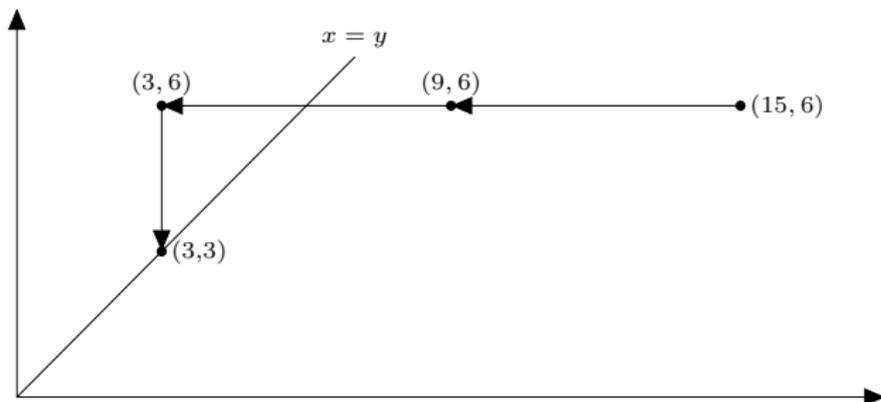


### ► Modello

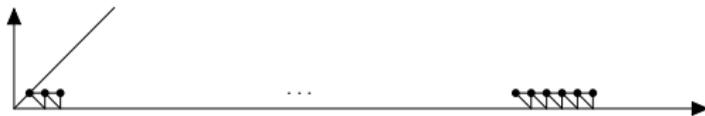
- Determinare il massimo numero intero che divide sia  $n$  che  $m$
- Calcolare il *massimo comun divisore* (MCD) di  $n$  e  $m$ 
  - $MCD(6, 15) = 3$

- ▶ Primo algoritmo basato su definizione
  - ▶ Supponiamo che  $n < m$  e che  $n$  non divide  $m$
  - ▶ Esaminiamo tutti i numeri  $d$  tra  $n/2$  e 2 (in ordine inverso)
    - ▶ Se  $d$  divide  $n$  e divide  $m$ , allora  $MCD(n, m) = d$
  - ▶  $MCD(n, m) = 1$
- ▶ Esempio:  $n = 111$  e  $m = 259$ 
  - ▶  $n/2 = 55$
  - ▶ Tutti i numeri tra 55 e 37 non dividono 111
  - ▶ 37 divide  $111 = 37 \times 3$  e divide  $259 = 37 \times 7$
  - ▶  $MCD(111, 259) = 37$
- ▶ Caso pessimo
  - ▶  $MCD(n, m) = 1$ 
    - ▶ Bisogna provare tutti i numeri tra  $n/2$  e 2

► Secondo algoritmo: formulazione geometrica



- ▶ Secondo algoritmo: formulazione algoritmica
  - ▶ Fintanto che  $n \neq m$ , se  $n < m$  poni  $m$  uguale a  $m - n$ , altrimenti poni  $n$  uguale a  $n - m$
  - ▶ Quando  $n = m$ , il loro valore è il MCD
- ▶ Correttezza
  - ▶ Segue dal fatto che, se  $x > y$ ,  $MCD(x, y) = MCD(x - y, y)$ 
    - ▶ Ogni numero che divide sia  $x$  che  $y$ , divide  $x - y$
    - ▶ Ogni numero che divide sia  $x - y$  che  $y$ , divide  $x$
- ▶ Caso pessimo
  - ▶  $n$  molto grande e  $m$  molto piccolo
  - ▶ Non molto diverso dal primo algoritmo

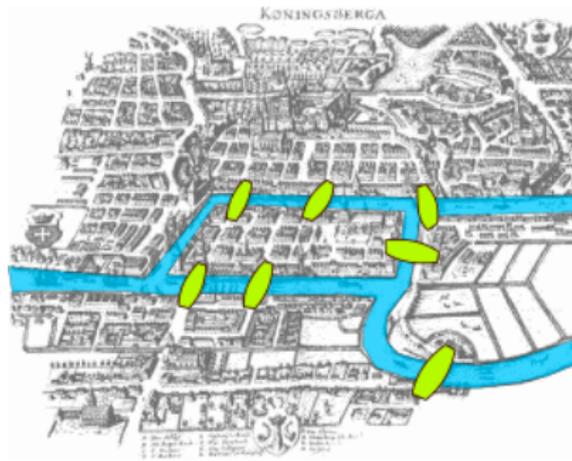


## Algoritmo di Euclide

- ▶ Miglioramento rispetto al secondo algoritmo
  - ▶ Cercare di raggiungere un punto sull'asse delle ascisse, saltando direttamente al punto a esso più vicino
  - ▶ Fintanto che  $n \neq 0$  e  $m \neq 0$ , se  $n < m$  passa alla coppia  $(n, m \bmod n)$ , altrimenti passa alla coppia  $(m, n \bmod m)$ 
    - ▶  $x \bmod y$ : resto della divisione di  $x$  per  $y$
- ▶ Correttezza
  - ▶ Segue dal fatto che, se  $x > y$ ,  $MCD(x, y) = MCD(y, x \bmod y)$ 
    - ▶ Se  $r = x \bmod y$ , allora  $x = qy + r$  e  $r = x - qy$
    - ▶ Ogni numero che divide sia  $x$  che  $y$ , divide  $r$
    - ▶ Ogni numero che divide sia  $y$  che  $r$ , divide  $x$
- ▶ Efficienza
  - ▶ Ottimale (ma esula da questo corso)

## Il metodo algoritmico: un esempio più complesso

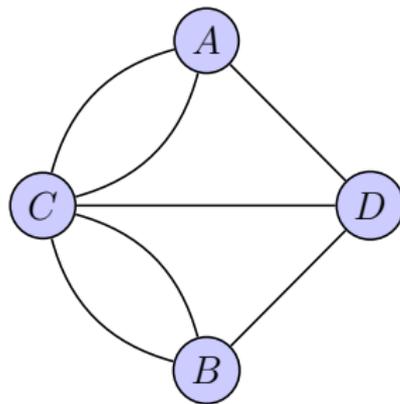
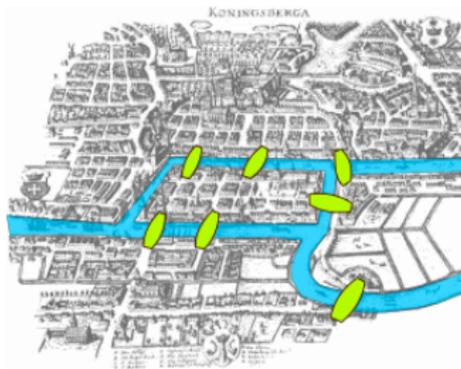
- ▶ Il problema dei ponti di Königsberg



- ▶ Possibile con una passeggiata seguire un percorso che attraversi ogni ponte una e una volta soltanto e tornare al punto di partenza?

## Il modello

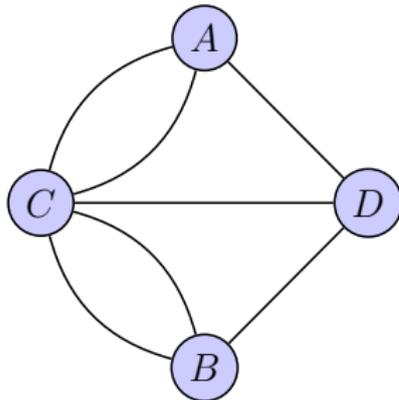
- ▶ Rappresentare relazione di connessione
  - ▶ Multigrafo



- ▶ Esiste un circuito che attraversa ogni arco una e una sola volta?
  - ▶ Esiste un circuito Euleriano?

## Teorema di Eulero

- ▶ Esiste un circuito Euleriano se e solo se il multigrafo è connesso e ogni nodo ha grado pari
  - ▶ Grafo connesso: ogni nodo può raggiungere ogni altro nodo
  - ▶ Grado di un nodo: numero di archi incidenti
- ▶ Multigrafo di Königsberg non ha circuito Euleriano

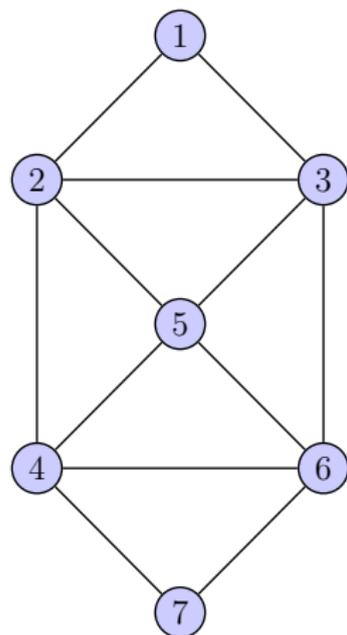


- ▶ Inizio della teoria dei grafi

## Algoritmo

- ▶ Si parte da un vertice arbitrario e si percorre il grafo cancellando gli archi percorsi
  - ▶ Raggiunto un vertice si riparte da questo
- ▶ Il vertice iniziale diventa di grado 1 mentre i vertici successivamente toccati hanno il grado diminuito di 2 (cancellati o ancora pari)
- ▶ Archi e vertici sono finiti e si ritorna al vertice di partenza (unico dispari)
  - ▶ Si determina così un ciclo
- ▶ Si ripete fino a che possibile
  - ▶ Si cancellano dal grafo gli archi del ciclo, e se esistono ancora archi si sceglie un vertice del ciclo e si ripete il procedimento
  - ▶ Si determina un nuovo ciclo che si inserisce sul ciclo precedente

## Esempio



- ▶ Scegliendo sempre il vertice di indice più basso
  - ▶ Ciclo 1-2-3-1
  - ▶ Ciclo 2-4-5-2
    - ▶ Ciclo complessivo 1-2-4-5-2-3-1
  - ▶ Ciclo 3-5-6-3
    - ▶ Ciclo complessivo 1-2-4-5-2-3-5-6-3-1
  - ▶ Ciclo 4-6-7-4
    - ▶ Ciclo complessivo (e finale) 1-2-4-6-7-4-5-2-3-5-6-3-1

# Algoritmi

- ▶ **Informatica**: studio sistematico dei processi algoritmici che descrivono e trasformano l'informazione: la loro teoria, analisi, progettazione, efficienza, implementazione e applicazione
- ▶ **Algoritmo**: successione finita di istruzioni o passi che definiscono le operazioni da eseguire su dei dati (che formano l'istanza di un problema) per ottenere dei risultati (intesi come la soluzione dell'istanza specificata)
  - ▶ Proprietà
    - ▶ Finito
    - ▶ Generale
    - ▶ Non ambiguo
    - ▶ Corretto
    - ▶ Efficiente
  - ▶ Esempio
    - ▶ Algoritmo di Euclide

## Problemi indecidibili

- ▶ Non tutti i problemi (computazionali) ammettono algoritmi di risoluzione: **problema della fermata** (Turing, 1937)

Dato un generico algoritmo (o programma)  $A$  e dato un input  $x$ ,  $A$  con  $x$  in ingresso **termina** o **va in ciclo**?

- ▶ Esempio: algoritmo  $P$ 
  - ▶ Con input  $n$ 
    1. Pone  $f = 2$
    2. Fintanto che  $f < n$  e  $n \bmod f$  è diverso da 0, aumenta  $f$  di 1
    3. Se  $f = n$ , allora il numero è primo, altrimenti non lo è
  - ▶ Per un numero  $n$  qualsiasi,  $P(n)$  termina?
    - ▶ Sì, perché  $f$  è aumentato di 1 a ogni ripetizione del passo 2 e a un certo punto deve divenire uguale a  $n$

## Conggettura di Goldbach

- ▶ Formulata nel 1742
  - ▶ Ogni numero pari  $n \geq 4$  è uguale alla somma di due numeri primi
- ▶ Esempio: algoritmo G
  - ▶ Senza nessun input
    1. Pone  $n = 2$
    2. Aumenta  $n$  di 2
    3. Per ogni  $p$  con  $2 \leq p < n$  e  $q = n - p$ : se  $p$  e  $q$  sono primi vai al passo 2.
    4. La congettura è falsa
- ▶ Quest'algoritmo termina?
  - ▶ Termina se e solo se trova  $n \geq 4$  per cui non esistono due primi  $p$  e  $q$  t.c.  $n = p + q$
  - ▶ Termina se e solo se la congettura di Goldbach è falsa (problema aperto)

## Problema della fermata

- ▶ Un algoritmo è una sequenza di simboli
  - ▶ Un algoritmo può essere dato in pasto a un altro algoritmo
- ▶ Supponiamo esista un algoritmo  $T(A, x)$  che, in tempo finito, risponde SI se  $A(x)$  termina, risponde NO se va in ciclo
  - ▶ È legale invocare  $T(A, A)$
- ▶ Esempio: algoritmo P
  - ▶ Con input A
    1. Se  $T(A, A)$  risponde SI, allora va in ciclo, altrimenti termina
- ▶  $P(P)$  termina?
  - ▶ Se  $P(P)$  termina, allora  $T(P, P)$  risponde NO, ovvero  $P(P)$  non termina
  - ▶ Se  $P(P)$  non termina, allora  $T(P, P)$  risponde SI, ovvero  $P(P)$  termina
  - ▶ **Contraddizione**
- ▶ Il problema della fermata è **indecidibile**
- ▶ Altri problemi lo sono: stabilire equivalenza tra 2 programmi

## Torri di Hanoi

- ▶ 3 pioli
- ▶  $n = 64$  dischi sul primo piolo (vuoti gli altri due)
- ▶ Ogni mossa sposta un disco in cima a un piolo
- ▶ Un disco non può poggiare su uno più piccolo
- ▶ Spostare tutti i dischi dal primo al terzo piolo
  - ▶ Leggenda: finito lo spostamento, il mondo scomparirà
- ▶ Algoritmo  $H$  con input  $n, p, s, t$ 
  1. Se  $n = 1$  sposta il disco da  $p$  a  $t$
  2. Altrimenti
    - 2.1 Esegue  $H(n - 1, p, t, s)$
    - 2.2 Sposta un disco da  $p$  a  $t$
    - 2.3 Esegue  $H(n - 1, s, t, p)$
  - ▶ Termina
    - ▶ A ogni nuova esecuzione il numero di dischi è diminuito di 1
  - ▶ Quanti passi esegue?

## Numero di mosse

- ▶ Se  $n = 1$ : 1
- ▶ Se  $n = 2$ : 3
- ▶ Se  $n = 3$ : 7
- ▶ Se  $n = 4$ : 15
- ▶ Se  $n = 5$ : 31
- ▶ In generale:  $2^n - 1$
- ▶ Dimostrazione
  - ▶ Caso base  $n = 1$ :  $2^1 - 1 = 1$
  - ▶ Passo induttivo:  $(2^{n-1} - 1) + 1 + (2^{n-1} - 1) = 2^n - 1$
- ▶ 1 mossa/sec: circa 585 miliardi di anni!

## Tempo esponenziale $2^n - 1$

- ▶ 1 operazione/sec

n	5	10	15	20	25	30	35	40
tempo	31 s	17 m	9 h	12 g	1 a	34 a	1089 a	34865 a

- ▶ Aumentare di un fattore **multiplicativo**  $X$  (ossia  $X$  operazioni/sec) migliora **solo** di un fattore **additivo**  $\log_2 X$ 
  - ▶ Tempo:  $\frac{2^n - 1}{X} \approx 2^{n - \log_2 X}$ 
    - ▶ Solo  $\log_2 X$  dischi in più rispetto a 1 operazione/sec
- ▶ Per quanto la tecnologia possa migliorare, la fine del mondo è lontana...

## Ordinamento

*Data una sequenza di  $n$  elementi e una loro relazione d'ordine  $\leq$ , disporli in modo che risultino ordinati (per esempio, in modo crescente) secondo la relazione  $\leq$*

- ▶ Milioni di applicazioni
- ▶ Algoritmo di ordinamento per selezione
  - ▶ Esegue  $n$  passi
  - ▶ Passo  $i$ : **seleziona** il minimo tra i rimanenti  $n - i + 1$  elementi e lo mette in posizione  $i$
- ▶ Analisi del tempo
  - ▶  $n$  passi e passo  $i$  richiede  $n - i + 1$  confronti

$$\sum_{i=1}^n (n - i + 1) = \sum_{i=1}^n i = \frac{n(n+1)}{2} = O(n^2)$$

- ▶ Vedrete algoritmi più efficienti

## Esponenziale versus polinomiale

### ▶ Esponenziale

n	5	10	15	20	25	30	35	40
tempo	31 s	17 m	9 h	12 g	1 a	34 a	1089 a	34865 a

- ▶ Aumentare di un fattore **moltiplicativo**  $X$  (ossia  $X$  operazioni/sec) migliora **solo** di un fattore **additivo**  $\log_2 X$

### ▶ Quadratico

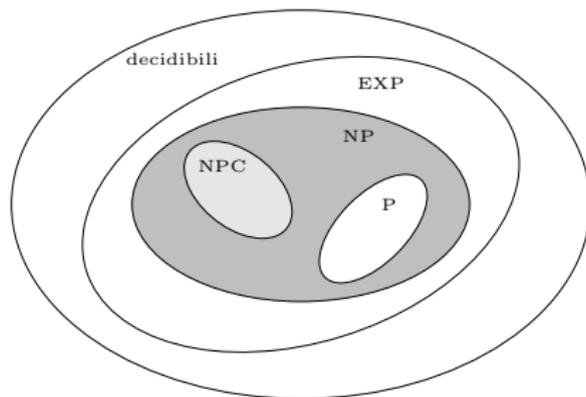
n	5	10	15	20	25	30	35	40
tempo	25 s	100 s	225 s	7 m	11 m	15 m	21 m	27 m

- ▶ Aumentare di un fattore **moltiplicativo**  $X$  (ossia  $X$  operazioni/sec) migliora di un fattore **moltiplicativo**  $\sqrt{X}$

- ▶ Tempo:  $\frac{n^2}{X} = \left(\frac{n}{\sqrt{X}}\right)^2$

- ▶  $\sqrt{X}$  elementi in più rispetto a 1 operazione/sec

## Classi di complessità

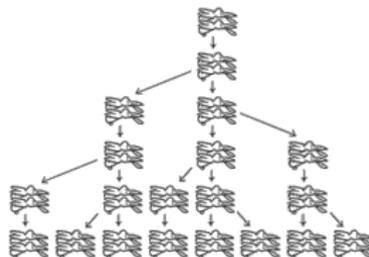


- ▶ Problemi NP-completi (NPC) i più difficili in NP
  - ▶ Se uno in NPC è **trattabile**, allora tutti lo sono in NP
  - ▶ Se uno in NPC è **intrattabile**, allora tutti lo sono in NPC
- ▶ **P=NP?** è un famoso problema aperto in informatica

# Numeri di Fibonacci

- ▶ Divertissement matematico
  - ▶ Crescita popolazione conigli
    - ▶ Una coppia all'inizio
    - ▶ Ogni coppia diviene fertile dopo 1 mese
    - ▶ Ogni coppia fertile riproduce una nuova coppia ogni mese
  - ▶ Quante coppie di conigli dopo  $n$  mesi?

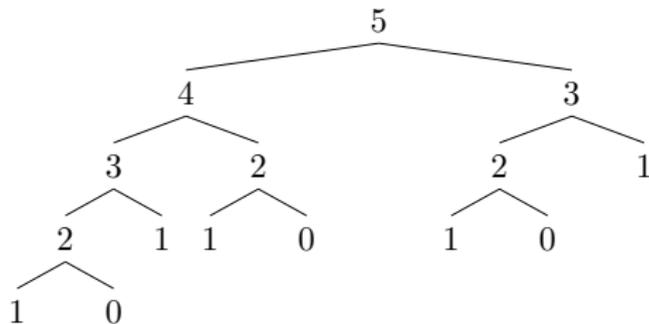
Mese 0	1
Mese 1	1
Mese 2	2
Mese 3	3
Mese 4	5
Mese 5	8



- ▶  $F_n = F_{n-1} + F_{n-2}$ 
  - ▶  $F_{n-1}$ : coppie già esistenti
  - ▶  $F_{n-2}$ : coppie nuove

## Primo algoritmo

1. Se  $n \leq 1$ , allora  $F_n$  è 1
2. Altrimenti, calcola  $x = F(n - 1)$  e  $y = F(n - 2)$ :  $F_n$  è  $x + y$



- ▶ Stesso numero calcolato più di una volta
- ▶ Tempo:  $O(F_n) = O(\phi^n)$ 
  - ▶  $\phi = \frac{1+\sqrt{5}}{2} \approx 1,6180339\dots$ : rapporto aureo

## Algoritmo ottimo

1. Pone  $x = 1$  e  $y = 1$
2. Per  $n - 1$  volte, pone  $z = x + y$ ,  $x = y$  e  $y = z$
3.  $F_n$  è  $y$

► Per  $n = 5$

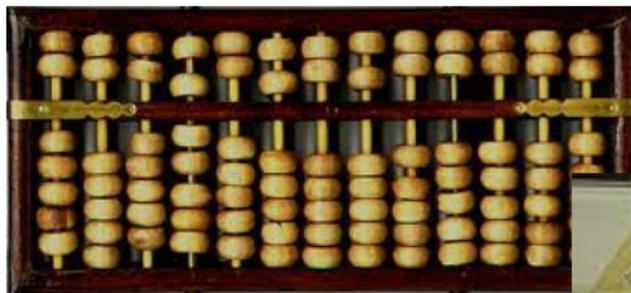
n	x	y	z
5	1	1	
4	1	2	2
3	2	3	3
2	3	5	5
1	5	8	8

► Risultato: 8

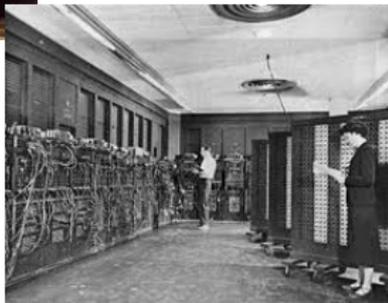
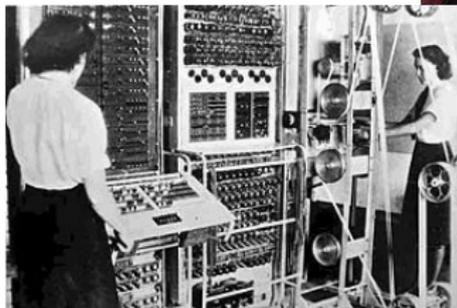
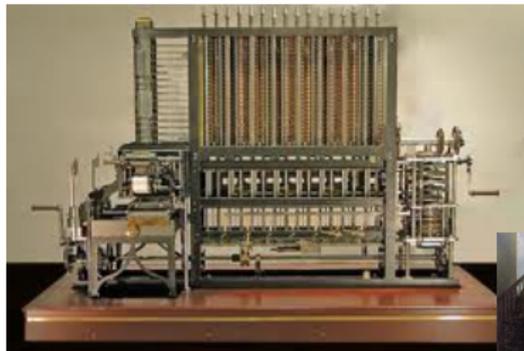
► Tempo:  $O(n)$

- ▶ Un calcolatore consiste di hardware e di software
  - ▶ Hardware: unità di elaborazione centrale, memoria principale, memoria ausiliaria, periferiche
  - ▶ Software: istruzioni raccolte in programma

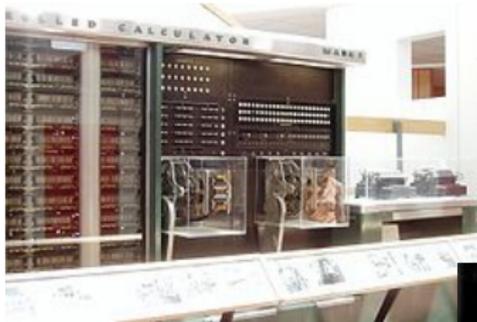
## Primi strumenti di calcolo

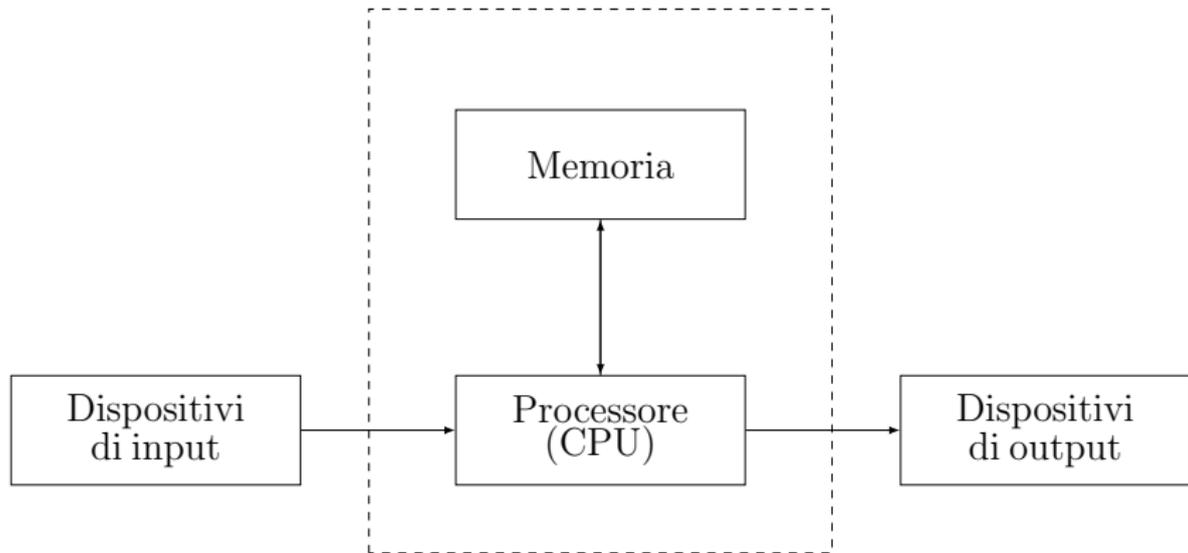


## Primi calcolatori



## La macchina di Von Neumann





- ▶ **CPU:** dispositivo che esegue le istruzioni di un programma
  - ▶ Solo operazioni molto semplici, come trasferimento di un dato oppure operazioni aritmetiche elementari
- ▶ **Memoria principale:** veloce, ma costosa e volatile (conserva il programma attualmente in esecuzione ed i dati da esso usati)
- ▶ **Memoria ausiliaria:** meno costosa e che perdura anche in assenza di elettricità, ma più lenta (utilizzata per conservare programmi e dati in modo più o meno permanente)

- ▶ **Bit:** può assumere due soli valori (0 ed 1)
- ▶ **Byte:** pari a 8 bit ( $2^8$  possibili valori)
- ▶ **Locazione di memoria:** sequenza di byte adiacenti associata a dato cui indirizzo è indirizzo primo byte di sequenza

INDIRIZZO	DATO	
...	...	...
484	00011110	Primo dato: 2 byte
485	00001001	
486	00000100	Secondo dato: 1 byte
487	01001100	Terzo dato: 4 byte
488	01111100	
489	01010101	
490	01001001	
491	01000111	Quarto dato: 2 byte
492	01001001	
...	...	...

## Codice ASCII

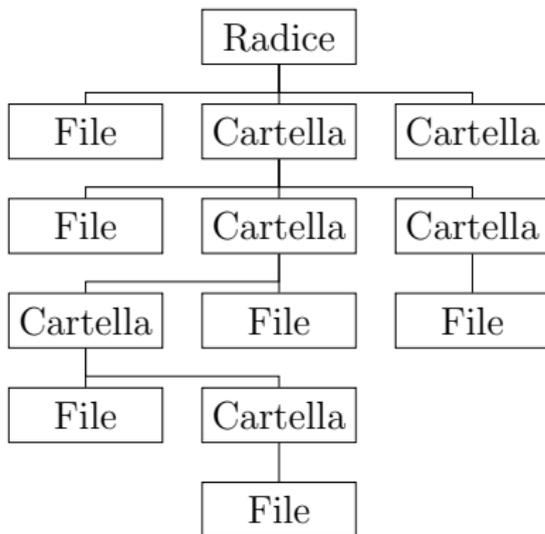
	000	001	010	011	100	101	110	111
0000		□	□	□	□	□	□	□
0001	□						□	□
0010	□	□	□	□	□	□	□	□
0011	□	□	□	□	□	□	□	□
0100		!	"	#	\$	%	&	'
0101	(	)	*	+	,	-	.	/
0110	0	1	2	3	4	5	6	7
0111	8	9	:	;	<	=	>	?
1000	@	A	B	C	D	E	F	G
1001	H	I	J	K	L	M	N	O
1010	P	Q	R	S	T	U	V	W
1011	X	Y	Z	[	\	]	^	_
1100	`	a	b	c	d	e	f	g
1101	h	i	j	k	l	m	n	o
1110	p	q	r	s	t	u	v	w
1111	x	y	z	{		}	~	□

## Numeraazione binaria

- ▶ Come in quella decimale, posizione di una cifra indica valore relativo
  - ▶ Il sistema binario usa potenze crescenti di 2

BINARIO	DECIMALE	BINARIO	DECIMALE
0000	0	1000	8
0001	1	1001	9
0010	2	1010	10
0011	3	1011	11
0100	4	1100	12
0101	5	1101	13
0110	6	1110	14
0111	7	1111	15

- ▶ Notazione realmente usata: complemento a due



- ▶ **Informatica:** fusione di *informazione* e *automatica*
  - ▶ Studio sistematico degli algoritmi che descrivono e trasformano l'informazione: la loro teoria, analisi, progetto, efficienza, realizzazione e applicazione
- ▶ **Algoritmo:** successione finita di istruzioni o passi che definiscono le operazioni da eseguire su dei dati (che formano l'istanza di un problema) per ottenere dei risultati (intesi come la soluzione dell'istanza specificata)
  - ▶ Interagisce con un ambiente esterno dal quale acquisisce dei dati e verso il quale comunica dati o messaggi

## Equazione di primo grado

1. Inizio dell'algoritmo {
2. leggi i coefficienti  $a$  e  $b$ ;
3. se  $a \neq 0$ ,  $x = -b/a$ ; vai a 6;
4. se  $b \neq 0$ , comunica che l'equazione è impossibile; vai a 7;
5. comunica che l'equazione è indeterminata; vai a 7;
6. comunica il valore di  $x$ ;
7. } Fine dell'algoritmo

## Equazione di secondo grado

1. Inizio dell'algoritmo {
2. leggi i coefficienti  $a$ ,  $b$  e  $c$ ;
3.  $\Delta = b^2 - 4ac$ ;
4. se  $\Delta < 0$ , comunica che l'equazione è impossibile; vai a 7;
5.  $x_1 = \frac{-b - \sqrt{\Delta}}{2a}$  e  $x_2 = \frac{-b + \sqrt{\Delta}}{2a}$ ;
6. comunica i valori di  $x_1$  e  $x_2$ ;
7. } Fine dell'algoritmo

## Somma di numeri interi

1. Inizio dell'algoritmo {
2. leggi  $n$ ;
3.  $i = 0$  e  $s = 0$ ;
4. se  $i > n$ , vai a 6;
5. aggiungi  $i$  a  $s$  e incrementa  $i$  di 1; vai a 3;
6. comunica il valore di  $s$ ;
7. } Fine dell'algoritmo

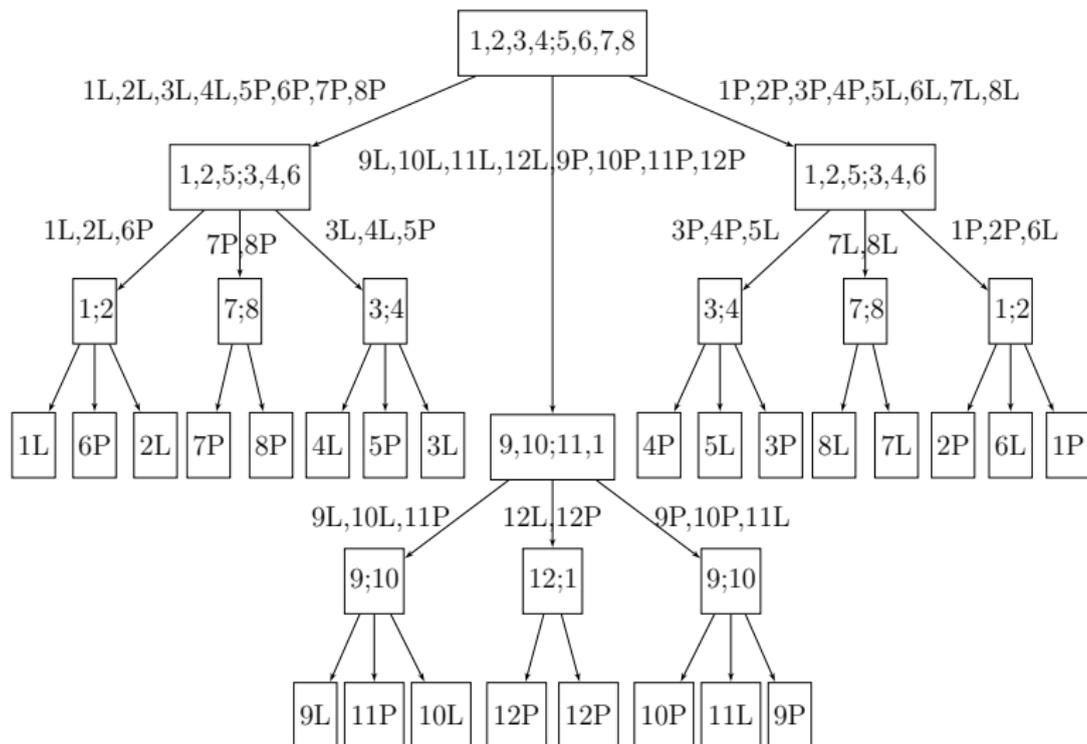
### Formula di Gauss

1. Inizio dell'algoritmo {
2. leggi  $n$ ;
3.  $s = \frac{n(n+1)}{2}$ ; comunica il valore di  $s$ ;
4. } Fine dell'algoritmo

## Il problema delle 12 monete

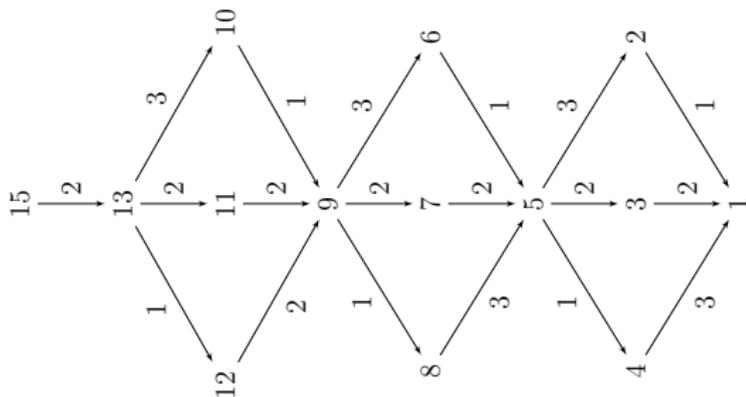
- ▶ Di 12 monete, una (e una sola) è falsa (peso diverso)
- ▶ Problema: disponendo di bilancia a 2 piatti, individuare moneta falsa e stabilire se più pesante o più leggera
  - ▶ Numero possibili soluzioni: 24
  - ▶ Ogni pesata genera 3 alternative
    - ▶ 1 pesata distingue fra 3 situazioni differenti
    - ▶ 2 pesate possono distinguere tra 9 situazioni differenti
    - ▶ 3 pesate possono distinguere tra 27 situazioni differenti
  - ▶ Non si può risolvere il problema con meno di 3 pesate
  - ▶ Esiste un algoritmo che impieghi effettivamente 3 pesate?
    - ▶ Confrontare inizialmente 2 monete non porta a soluzione: 20 soluzioni con 2 pesate
    - ▶ Confrontare due coppie di monete: 16 soluzioni con 2 pesate
    - ▶ Confrontare terne di monete: 12 soluzioni con 2 pesate

## Soluzione al problema delle 12 monete



## Il problema dei 15 fiammiferi

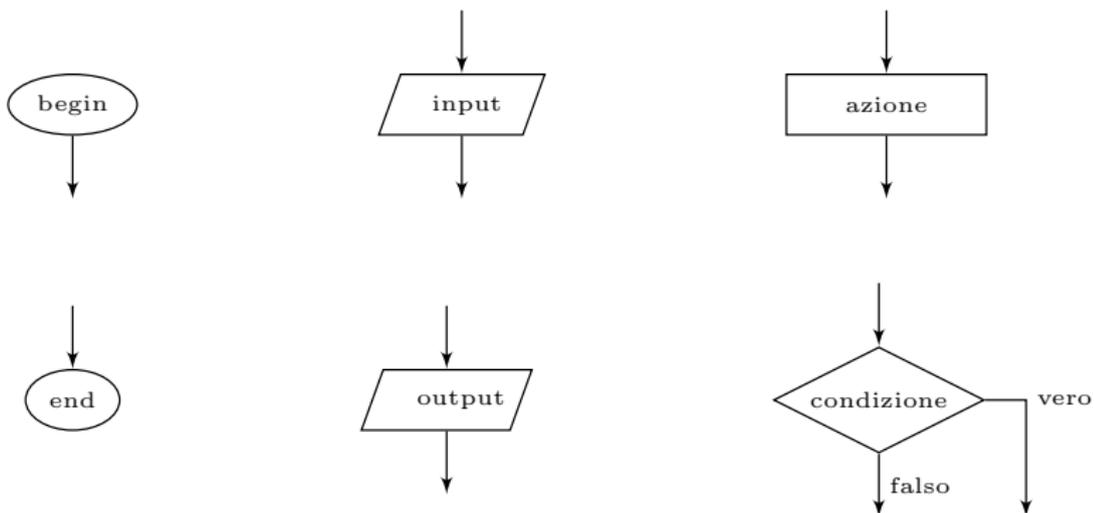
- ▶ Quindici fiammiferi su una tavola
- ▶ A turno, due giocatori raccolgono 1, 2 oppure 3 fiammiferi
- ▶ Giocatore che raccoglie ultimo fiammifero perde
- ▶ Strategia vincente: lasciare un multiplo di 4 più uno



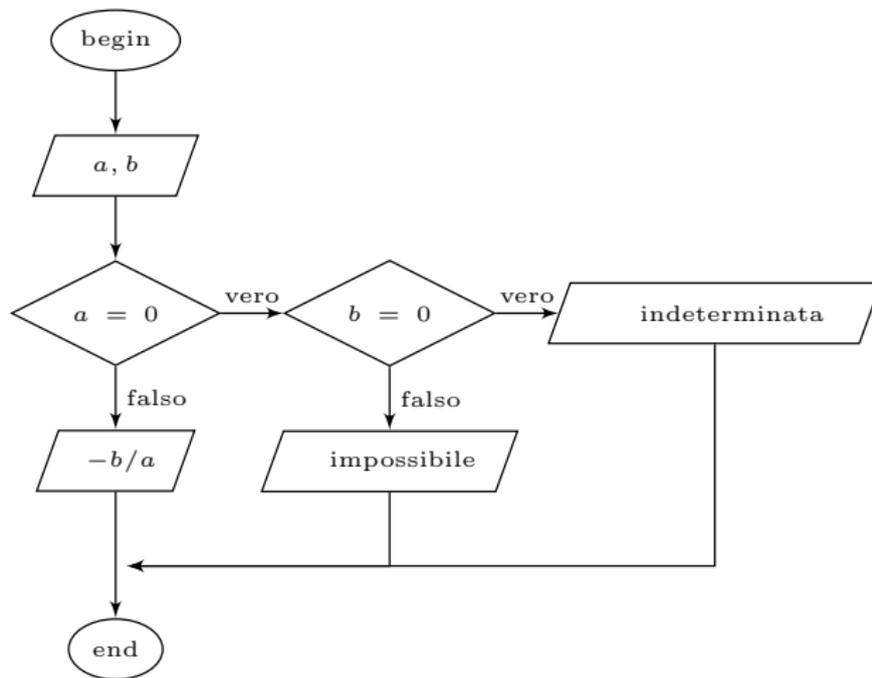
- ▶ Generalizzabile a qualunque numero di oggetti e qualunque possibili prese

- ▶ Un algoritmo deve essere
  - ▶ Finito
  - ▶ Generale
  - ▶ Non ambiguo
  - ▶ Corretto
  - ▶ Efficiente

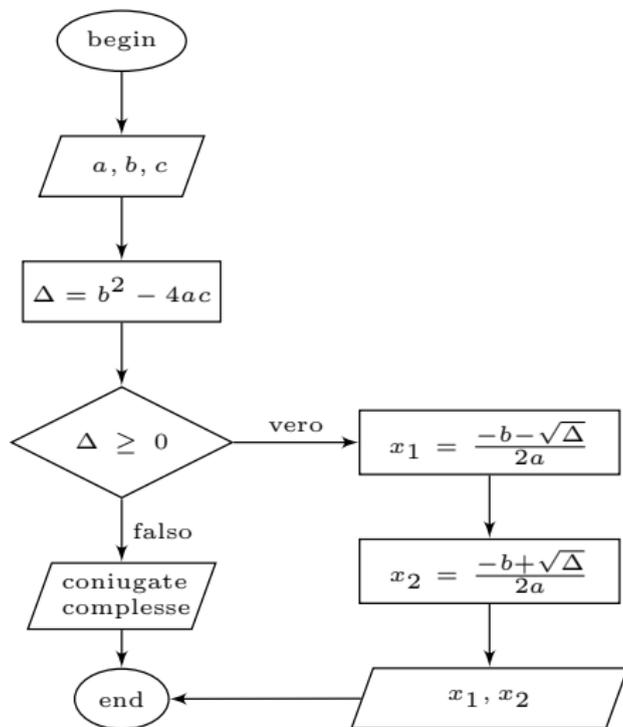
- ▶ Linguaggio di programmazione
- ▶ Pseudo-codice
- ▶ Diagrammi a blocchi



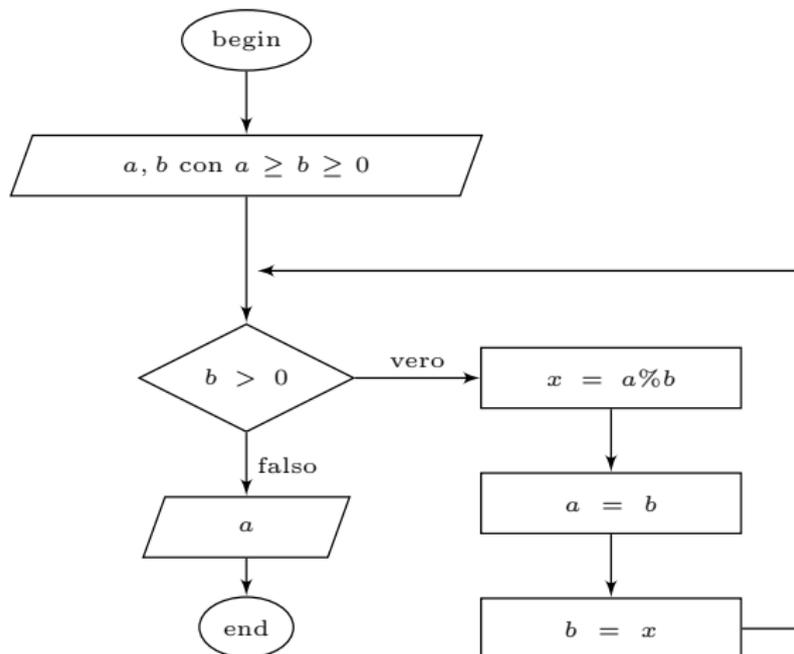
## Diagrammi a blocchi ed equazioni di primo grado



## Diagrammi a blocchi ed equazioni di secondo grado



## Diagrammi a blocchi e algoritmo di Euclide



- ▶ Programma: algoritmo scritto in linguaggio di programmazione
- ▶ Opera su
  - ▶ Dati in input
  - ▶ Dati di supporto
- ▶ Produce dati in output
- ▶ Diversi tipi
  - ▶ Sistema operativo
  - ▶ Programmi applicativi
    - ▶ Già esistenti
    - ▶ Creati dall'utente

## ▶ Linguaggio macchina

- ▶ Consiste di sequenze di 0 e 1
- ▶ Eseguito direttamente dal calcolatore

## ▶ Linguaggio assembler

- ▶ Di tipo simbolico
- ▶ Richiede una traduzione aggiuntiva molto semplice

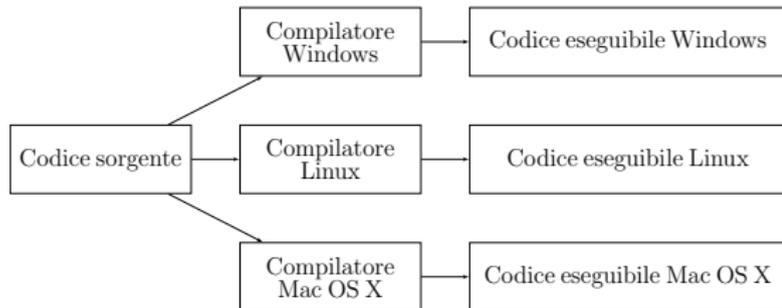
## ▶ Linguaggio ad alto livello

- ▶ Compromesso tra linguaggio naturale e linguaggio macchina
- ▶ Esempi: FORTRAN, ALGOL, COBOL, LISP, APL, PROLOG, BASIC, Pascal, C, Ada, C++, Java, Python

## ▶ Esempio: somma di due numeri

- ▶ Linguaggio macchina:  
000000000010000011000001000000100000
- ▶ Linguaggio assembler: add \$3, \$2, \$1
- ▶ Linguaggio ad alto livello: c = a+b;

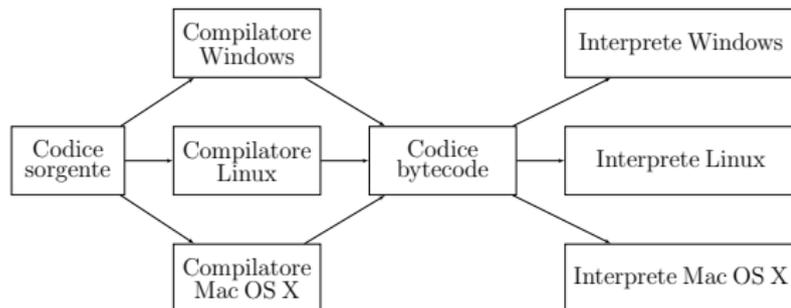
- ▶ **Compilatore:** traduce programma in linguaggio ad alto livello in programma in linguaggio macchina (più o meno)



- ▶ **Interprete:** traduce ed esegue una dopo l'altra istruzioni programma sorgente

## L'approccio di Java

- ▶ Uso di codice intermedio detto byte-code
  - ▶ Linguaggio macchina di calcolatore virtuale



- ▶ Principale vantaggio: portabilità